Johanna Steinkirchner

Die Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen an Hand der Haversschen Kanälchen, durch deren Größe und Anzahl pro Gesichtsfeld im Querschnitt von Röhrenknochen

Diss. München
1984

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München
Direktor: Prof. Dr. W. Spann

Die Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen an Hand der Haversschen Kanälchen, durch deren Größe und Anzahl pro Gesichtsfeld im Querschnitt von Röhrenknochen

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
Johanna Steinkirchner
aus
Erding
1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. W. Eisenmenger
Mitberichterstatter: Prof. Dr. W. Spann
Dekan: Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 1983

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1. Einleitung		2
2. Allgemeiner Teil		4
2.1	Verschiedene Verfahren zur Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen	4
2.1.1	Vergleichend - anatomische	4
2.1.2	Präzipitations-	6
2.1.3	Immunelektrophoretische	6
2.1.4	Fluoreszenz - immunhistologische Verfahren	7
2.2	Vergleichend morphologisch - histologisches Verfahren: Ergebnisse und Ansichten von Voruntersuchern	7
3. Experimenteller Teil		11
3.1	Material	11
	- Menschenknochen	12
	- Tierknochen	13
3.2	Histologische Methodik	14
3.3	Mikroskopische Meßvorrichtung und Methodik	16
4. Ergebnisse		18
5. Diskussion		24
6. Schlußfolgerung		35
7. Zusammenfassung		38
8. Literatur		40
Lebenslauf		47

1. Einleitung

Eine der wesentlichen Aufgaben der forensischen Medizin ist - abgesehen von der Bestimmung der Todesart und des Todeszeitpunkts - die Identifikation unbekannter Leichen.
Die Identifikation von Leichen oder Teilen derselben wird den Gerichtsmedizinern übertragen, wenn die Anwendung bisher bekannter Hauptverfahren der Personenerkennung - früher Bertillonage, heute Daktyloskopie und Bildvergleich - durch die eingetretenen traumatischen oder thermischen Veränderungen stark erschwert oder gar nicht mehr möglich ist. Umgebungsfaktoren - Klima, Witterung, Milieu (Wasser, Erde, Luft), Tierfraß - beeinflussen den abgestorbenen menschlichen Organismus zusätzlich. Die Knochen halten sich im Gegensatz zu den anderen Bestandteilen des menschlichen Organismus sehr lange, so daß ihre sachkundige Untersuchung wertvolle Ergebnisse erbringen kann. (Hunger, Leopold 1978). Aus der Tatsache, daß Knochenmaterial Jahrzehnte, manchmal sogar Jahrhunderte nahezu unbeschadet überdauert, können jedoch zusätzliche Schwierigkeiten bezüglich der Unterscheidung von tierischem und menschlichem Material erwachsen. Solange noch eine organische Gewebshülle vorhanden ist, wird gewöhnlich schon der äußere Aspekt ob der Herkunft des Leichenteils keinen Zweifel lassen.
Trotzdem gibt es Fälle, in denen Knochen und andere Teile von Tierkadavern irrtümlicherweise als menschliche Leichenreste beurteilt wurden und ein Verbrechen gegen Menschenleben angenommen wurde. Derartige Irrtümer sind aus der älteren Fachliteratur bekannt, wie von Schröder (1912) und Kenyeres (1909) beschrieben.
Schwierigkeiten bei der Zuordnung ergeben sich unter Umständen dann, wenn kein komplettes Skelett oder einzelne für die Spezies charakteristische Knochenteile vorliegen. Nicht selten erregen Funde von Kleintierknochen den Verdacht auf Abtreibung oder Kindesmord, so daß insbesondere kleine Knochen und Bruchstücke einer ausführlichen vergleichend-anatomischen Untersuchung bedürfen.
Auch wenn in vielen Fällen der äußere Aspekt die Identifizierung

zuläßt, so kann doch im Einzelfall eine Zuordnung schwer, ja sogar unmöglich sein, so daß der Sachverständige auf subtilere Methoden angewiesen ist, die unter Umständen zu dem gewünschten Ergebnis führen.
Es gibt Hinweise in der rechtsmedizinischen Literatur, die Artzugehörigkeit mittels eines Knochenschliffpräparats zu klären. Danach ist es möglich, Tier- und Menschenknochen dadurch zu identifizieren, daß man die Querschnitte der Haversschen Kanälchen ausmißt und deren Anzahl pro Gesichtsfeld bestimmt.
Menschenknochen sollen generell größere Haverssche Kanälchen in geringerer Dichte zeigen als Tierknochen jeglicher Spezies.
Diese Methode wurde erstmals von Kenyeres und Hegyi beschrieben, bestätigt haben sie Wada, Balthazard und Lebrun, Rämsch, Goldbach und Hinüber, sowie Matyas und Mitarbeiter.
Zweifel angemeldet haben Fana, Schröder und Hey, für völlig widerlegt halten die Methode Giese, Geyer, Kernbach und Grass.
Da die Identifikation von Menschenknochen nicht von rein akademischem Interesse ist, sondern, wie bereits erwähnt, meist eine forensische Fragestellung im Hintergrund steht, deren Ergebnis nicht selten im Strafprozeß Verwendung findet, müssen an die Verläßlichkeit des Verfahrens sehr hohe Ansprüche gestellt werden. Für die Anwendung in der Praxis eignet sich letztlich nur eine Methode, die mit "an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit" die Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen gewährleistet.

2. Allgemeiner Teil

2.1. Verschiedene Verfahren zur Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen

Die Identifikation unbekannter Knochen gehört in der gerichtlichen Medizin zu den schwierigen Aufgaben der Praxis. Zur Unterscheidung wurden verschiedene Methoden angegeben.

2.1.1 Vergleichend anatomische Methode

Die Herkunft eines kompletten Knochens kann meist unschwer durch vergleichende anatomische Untersuchung geklärt werden. Für die Spezies charakteristisch sind z. B. die Schädelform, das Kieferskelett, die Form der Wirbel, des Schulterblattes und der Hüftknochen, ebenso wie die langen Röhrenknochen mit ihren Gelenkstücken, wie man unschwer am Beispiel der Femurknochen von Rothirsch, Schimpanse und Berberaffe erkennt (vgl. Abb. 1). Kleine Knochen bedürfen eingehender Untersuchung. Die menschlichen Skeletteile sind allerdings sehr charakteristisch. Im Zweifelsfall konnte sogar die menschliche Herkunft eines einzigen Fingerendgliedes auf Grund der breiten und flachen Beschaffenheit der Tuberositas unguinalis ermittelt werden, wodurch die Herkunft des Knochens von einem Affen ausgeschlossen werden konnte (Parisot und Mutuel 1929).

Abb. 1
Femur von Rothirsch, Schimpanse, Berberaffe
(von links nach rechts)

2.1.2 Präzipitationsverfahren

Schwieriger wird die Unterscheidung, wenn man nur Knochenfragmente vorfindet. In diesem Fall kann das Uhlenhuth'sche Präzipitationsverfahren angewandt werden. Beumer und Schütze bedienten sich dessen schon im Jahr 1902 für die Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen.
Das Grundprinzip ist eine Präzipitinreaktion, die zwischen dem im Knochen anwesenden artspezifischen Eiweiß und dem entsprechenden Antiserum abläuft. Dabei ist es nötig, hochspezifische Antisera zu verwenden (1 : 20.000). Dann ist sogar bei Verwendung von nur 0,25 g Knochenmehl bei selbst monatealten Knochen stets ein positives Ergebnis zu erwarten (Beumer 1913).
Ein anderes Verfahren ist die Diffusionsmethode nach Ouchterlony, oder Elektropräzipitation, die insbesondere im Agar-Gel Medium eine sehr empfindliche Reaktion darstellt (Prokop, Schlesiger, Falk 1963, zitiert nach Hunger, Leopold 1978).

2.1.3 Immunelektrophoretisches Verfahren

Das immunelektrophoretische Verfahren (Burckhard, Havez, Dautrevaux 1966, zitiert nach Hunger und Leopold 1978) beruht ebenfalls auf dem Nachweis von Serumprotein im kompakten Knochengewebe. Im Laufe der elektrophoretischen Trennung der Proteine in einer Polyakrylamid-Substanz wird den getrennten Fraktionen mit Immunserum vermengter Agar auf dem Wege der Diffusion zugeführt. Dabei kann neben dem Verhalten der Proteine im elektrischen Feld gleichzeitig ihre Antigenbeschaffenheit zur Identifizierung herangezogen werden. Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß proteinspezifische Methoden sehr lange durchführbar sind und unter Umständen noch nach 30 - 40 Jahren mit Erfolg angewandt werden können.

2.1.4 Fluoreszenz - immunhistologische Verfahren

ermöglichen den Nachweis von Antigen und Antikörper.
Das im Knochenmehl enthaltene Antigen wird mit einem markierten (Fluoreszein-Isothiozyanat) antikörperhaltigen Immunserum nachgewiesen. Die positive Reaktion, d. h. der Antigen-Antikörperkomplex in Verbindung mit dem Farbstoff, tritt als grünlich-gelbe Fluoreszenz im Dunkelfeld in Erscheinung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich gegebenenfalls jede der angegebenen Methoden sehr wohl zur Artdifferenzierung eignet. Die genannten biologischen Verfahren setzen jedoch das Vorhandensein organischen Materials in der Probe voraus. Ist das knocheneigene Eiweiß allerdings vollständig denaturiert, sei es durch Fäulnis, langes Liegen im Wasser, Säureeinwirkung oder Hitze - direkte Flammenwirkung - so kann der serologische Nachweis manchmal nicht mehr geführt werden.
In diesem Fall kann eine histologische Beurteilung der anorganischen Grundsubstanz des Knochenfundes hilfreich sein und zur Identifikation beitragen.
Inwieweit sie für die forensische Medizin geeignet ist, soll unter Berücksichtigung der Ergebnisse früherer Untersuchungen und in Anlehnung an deren Auswahl des Materials, Aufarbeitungsart und Meßmethode an eigenen Untersuchungen nachgeprüft werden.

2.2 Vergleichend morphologisch-histologisches Verfahren:
Ergebnisse und Meinungen von Voruntersuchern

2.2.1 Als erste wiesen Kenyeres 1903 und Hegyi mit Matyas 1913 darauf hin, daß sich zwischen Menschen- und Tierknochen auffallende Unterschiede in der Zahl der Haversschen Kanälchen finden.

Beim Menschen soll der Durchmesser der Haversschen Kanälchen im Durchschnitt 3 mal größer sein als beim Tier. Dafür sollen aber bei diesem in einem bestimmten mikroskopischen Gesichtsfeld bedeutend mehr Querschnitte von Kanälen sichtbar sein als beim Menschen, am Röhrenknochen von Hund und Schwein 5 mal soviele, bei Schaf und Rind sogar 6 bzw. 7 mal soviele.
Ferner fanden sie an einigen Stellen des tierischen Schliffpräparats horizontale, parallel verlaufende, dicht gelagerte Kanäle, wie sie beim Menschen niemals aufträten.

2.2.2 Wada (1909) bestätigte die Resultate in Bezug auf Durchmesser und Anzahl der Haversschen Kanälchen beim Tier- und Menschenknochen. Nur die Knochen der Neugeborenen nähmen eine Sonderstellung ein und näherten sich im mikroskopischen Bild denen eines Affen, seien jedoch von diesen dadurch zu unterscheiden, daß hier die Grenzen zwischen Haversschen Kanälchen und interstitiellen Knochenlamellen ganz verwischt und die Anordnung der Knochenlücken um die Haversschen Kanälchen noch weniger ausgeprägt sei als beim Affen.

2.2.3 Balthazard und Lebrun (1911) bestritten zwar die Möglichkeit, Affen- und Menschenknochen zu unterscheiden, hoben jedoch hervor, daß die Unterscheidung anderer, dem Menschen weniger artverwandter Tierarten sicher möglich sei, da bei allen anderen Tierarten der Durchmesser der Haversschen Kanälchen sogar im Alter der Reife - unter Berücksichtigung, daß die Durchmesser der Haversschen Kanälchen bei fortschreitender Osteoporose zunehmen - immer noch weniger als 20µ betrage.

2.2.4 Canuto (1927) kam ebenfalls zu einem positiven Ergebnis. Beim Mensch lägen die Durchmesser der Haversschen Kanälchen in einer Variationsbreite von 16- bis 150-200µ vor, letztere Werte würden bei Tieren nie beobachtet.

2.2.5 Auch Schranz (1933) hielt eine Unterscheidung durch mikroanatomische Untersuchung für möglich. Für die durchschnittlichen Durchmesser der Haversschen Kanälchen beim Menschen gab er 80µ an. Ähnliche Abmessungen hätten nur die Haversschen Kanälchen im Pferdeknochen. Doch sei die Anordnung der Knochenlamellen beim Pferd anders als beim Menschen. Bei anderen Tierarten sei der Durchmesser der Haversschen Kanälchen geringer, z. B. betrage er beim Bär 65µ, beim Wildschwein 50µ, beim Rind und Hausschwein 40µ

2.2.5 Die Angaben von Matyas und Mitarbeiter wurden von Hinüber (1954), Förster und Goldbach (1954), Goldbach und Hinüber (1955) in jeder Einzelheit bestätigt. Diese Autoren trugen jedoch keine prinzipiell neuen Erkenntnisse zu den Beobachtungen von Matyas bei.

2.2.6 Zu einem anderen Ergebnis kam Fana (1907).
In Bezug auf die Zahl der Haversschen Kanälchen konnte er keinen durchgreifenden Unterschied finden, dagegen bestätigte er den auffallenden Unterschied in der Größe. Er bezeichnete Durchmesser von 80-100µ beim Menschen als Regel, ja sogar solche von 130-140µ kämen vor, während beim Tier Werte von 10-15-30µ vorherrschen würden.

2.2.7 Gradwohl (1976) schlug vor, daß der histologische Befund durch andere beweiskräftige Untersuchungen gestützt werden sollte und

2.2.8 Hey (1924) vertrat die Auffassung, daß Unterschiede zwischen menschlichen und tierischen Knochen nur dann bestünden, wenn die einwirkenden funktionellen Kräfte auf den Knochen anders seien. Unterschiede seien also nur gelegentlich nachweisbar. Es gebe verschiedene Bilder in Rand- und Innenzonen des Knochens.

Nach Giese, Geyer, Grass und Kernbach ist das histologische Verfahren für die Artdifferenzierung ungeeignet.

2.2.9 Giese (1908) fand zwar beim Menschen relativ größere Durchmesser der Kanäle als beim Tier, die Zahlenangaben wichen jedoch wenig voneinander ab. Mensch 66µ, Pferd meist 46µ, Esel 45-46µ, Hase 76µ. Auch die Zahl der Kanäle im Gesichtsfeld war bei ihm wenig unterschiedlich.
Zusammenfassend äußerte er sich - und dem schloß sich

2.2.10 Geyer (1910) im Wesentlichen an: "Es gibt keine absolute Grenzzahl, weder für die Zahl, noch für den Durchmesser der Kanäle."

2.2.11 Grass (1916) fand wesentliche Unterschiede zwischen menschlichen und tierischen Knochen. Der Durchmesser der Kanälchen sei beim Menschen 2 - 3 mal größer, als beim Tier, die Zahl der Kanälchen pro Flächeneinheit beim Tier 2 - 3 mal größer als beim Menschen. Abschließend führte sie jedoch aus: "Allein auf Zahl und Weite der Kanälchen fußend ist eine genaue Artdiagnose eines bestimmten Knochens zur Zeit unmöglich."

2.2.12 Kernbach (1925) ging noch weiter, er war der Ansicht, daß der mittlere Durchmesser der Haversschen Kanälchen sowohl beim Menschen, als auch beim Tier sehr veränderlich sei, sogar in den verschiedenen Teilen des gleichen Knochens. Die Bestimmbarkeit der menschlichen Herkunft auf Grund histologischer Untersuchungen der Haversschen Kanälchen lehnte er vollkommen ab.

Bei so divergierenden Meinungen stellt sich die Frage nach der Brauchbarkeit dieser Methode, insbesondere da bisher - oft auf Grund der geringen Menge untersuchten Materials - keine statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgt ist. Unter Verwendung von ausreichend Material, das nach der in der Literatur angegebenen Weise entnommen und aufgearbeitet wurde - zum Zwecke der Vergleichbarkeit - haben wir unsere Ergebnisse einer statistischen Überprüfung unterzogen.

3. Experimenteller Teil

3.1 Material

Haverssche Kanälchen sind Hohlräume der lamellären Knochenstruktur, in welcher die Blutgefäße verlaufen. Den Gefäßkanal (Haverscher Kanal) und das denselben umgebende konzentrische Lamellensystem des Knochens nennt man Haverssches System oder Osteon. (Morphologie, vgl. Abb. 2)
Wir haben geprüft, inwieweit Unterschiede im Durchmesser der Haversschen Kanälchen und deren Anzahl pro Gesichtsfeld auf einer bestimmten Knochenfläche bestehen, bei Menschen verschiedenen Alters und bei einigen Tierarten.

Das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegende Knochenmaterial stammte von 12 Menschen mit einem Lebensalter zwischen 4 Monaten und 86 Jahren (vgl. Tab. 1) und von 22 verschiedenen Tieren, bzw. 17 verschiedenen Tierarten (vgl. Tab. 2). Entnommen wurden jeweils die medianen Anteile der Diaphysen von Femur, Humerus und Grundphalange. Insgesamt wurden 20 Menschenknochen und 42 Tierknochen untersucht.
Pathologisch veränderte Knochen schlossen wir von der Untersuchung aus, da z. B. Ostitis scleroticans, Rachitis, Osteomalazie, spezifische Entzündungen und Geschwülste die Knochenstruktur weitgehend verändern.
Lediglich der Femur des Schimpansen zeigte subperiostal eine degenerative Rauigkeit, die wahrscheinlich auf die unausgewogene Ernährung eines Zootiers zurückzuführen ist, auf die Haversschen Kanälchen im Inneren aber keinerlei Auswirkung hat.

Tabelle 1

Menschen verschiedenen Alters:	Knochenart: Humerus	Grundphalange	Femur
4 Monate		+	+
10 Monate	+		
10 Monate			+
24 Jahre		+	+
40 Jahre		+	+
40 Jahre		+	+
46 Jahre	+		
48 Jahre		+	+
63 Jahre		+	+
75 Jahre		+	+
83 Jahre		+	+
86 Jahre	+		

Tabelle 2

Tierart:	Knochenart: Humerus	Grundphalange	Femur
Haushuhn		+	+
Ratte	+	+	
Meerschweinchen	+	+	+
Katze	+	+	
Feldhase			+
4 Hunde:			
Dackel	+	+	
Bastard			+
Schäferhund	+	+	
Berner Sennhund			+
Schaf	+	+	
Ziege	+	+	+
Gemse	+	+	
Ferkel	+	+	
Reh		+	+
Rothirsch		+	+
Kalb	+	+	
Rind	+	+	
3 Pferde:			
Fohlen	+	+	
Ponny			+
ausgew. Pferd	+	+	
Berberaffe		+	+
Schimpanse		+	+

3.2. Histologische Methodik

Das frisch entnommene Knochenmaterial wurde von der Mitte aus mit feiner Säge in etwa 5 mm dicke Ringe zerteilt und folgendermaßen behandelt.

1. Fixierung 1 Woche lang in Bouin'scher Lösung (Romeis 1968) - einem Pikrinsäure-Formol-Eisessig Gemisch. Die schrumpfende Wirkung beträgt in der Flüssigkeit nur 2,5 %.

2. Nachfolgende Alkoholbehandlung in aufsteigender Reihe 50 % - 70 % - 80 % - 96 % und absteigend 80 % - 70 % - 50 %, pro Verdünnungsstufe 24 Stunden lang.

3. Dann wurde entkalkt bis das Knochenstück "Radiergummikonsistenz" erreicht hatte, im Durchschnitt etwa 2 Wochen in 7 %iger Salpetersäure. Will man die Entkalkungsdauer abkürzen, so geschieht dies am besten durch häufigeren Säurewechsel. Von einer gewissen Größe der Knochenringe an, ist das Wechseln der Säure bzw. Abkürzen der Entkalkungsdauer sogar unerläßlich, da eine zulange Einwirkung der Säure zu irreversiblen Strukturverquellungen führt, die das folgende Schneiden und Auswerten erschweren.

4. Einlegen in 5 %ige Lithium-Sulfat-Lösung über 24 Stunden verhindert die Quellung.

5. Spülen unter fließendem Wasser für 24 Stunden.

6. Nachfolgende Alkoholbehandlung in aufsteigender Reihe: 50 % - 70 % - 80 % - 96 % jeweils 24 Stunden.

7. Mit Isopropylalkohol I, II, III wird innerhalb 24 Stunden das Restwasser entfernt, mit Methylbenzoat I, II, III innerhalb 24 Stunden der restliche Alkohol ausgewaschen.

8. Dann wird in Paraplast eingebettet. Benzol I und II je 20 Minuten entfernen Methylbenzoat.

Eingebettet in ein 1:1 Benzol/Paraplast Gemisch bleibt das Präparat 20 Minuten im Wärmeschrank bei 37° C. Dann wird es in unreines Paraplast eingebettet und bei 56° C 20 Minuten behandelt. Zuletzt wird es 24 Stunden lang in reinem Paraplast bei 56° C gehalten.

9. Das Präparat wird danach in Metallrahmen ausgegossen, man läßt es erkalten und schneidet die Blöcke zurecht. Aus ihnen werden im Mikrotom 5µ dicke Schnitte angefertigt.

10. Aufkleben der Schnitte: Dazu wird der Objektträger dünn mit Eiweiß-Glycerin bestrichen, Aqua destillata aufgetropft, der Dünnschnitt aufgelegt und auf dem Strecktisch bei 45° gestreckt. Man läßt es antrocknen. Bei der anschließenden Behandlung im Wärmeschrank bei 56° C 2 Stunden lang wird das Paraplast ausgeschmolzen und läuft ab.

11. Entparaffiniert wird endgültig, indem das Präparat je 5 Minuten in 2 Küvetten Xylol und 2 Küvetten Isopropylalkohol und je 1 mal in 96 %igem und 70 %igem Alkohol getaucht wird. Dann wird mit Aqua destillata ausgewaschen bis keine Alkoholstreifen mehr zu sehen sind. Das Präparat ist nun bereit für die Färbung.

Wir haben 2 verschiedene Färbemethoden angewandt. Der Vergleichbarkeit mit Voruntersuchern wegen, die Hämalaun-Eosin-Färbung und der besseren Differenzierbarkeit der Knochenlamellenstruktur wegen, die Färbung nach Schmorl.

12. Nach der Färbung wird das Präparat nochmals in umgekehrter Richtung wie vor der Färbung mit Aqua destillata, 70 %, 96 %igem Alkohol, Isopropylalkohol 2 Küvetten, Xylol 2 Küvetten je 5 Minuten behandelt, dann zur besseren Haltbarkeit in Entellan (Schnelleindeckmittel Merck R) eingebettet und mit einem Deckglas versehen.

3.3 Mikroskopische Meßvorrichtung und Methodik

Die Messungen erfolgten mittels des elektronischen digitalen Planimeters "Digiplan" der Firma Contron (MOP - AMO 2), bestehend aus Prozeßrechner und Auswertstift mit Leuchtdiode. Bei diesem Gerät ist eine Meßgenauigkeit von 10µ gegeben, wobei individuelle Meßfehler durch Eingabe eines Korrekturfaktors nach Mittelwertbestimmung aus 10 Eichwerten weitgehend vermieden werden können.

Entsprechend den Angaben in der Literatur haben wir pro Knochen
- 100 Haverssche Kanälchen im Querschnitt bei 75-facher Vergrößerung (Objektiv 6/0,2) ausgemessen und
- 100 Gesichtsfelder bei 500facher Vergrößerung (Objektiv 20/0,45) ausgezählt.

Wegen der geringen Ausmaße des Materials, mußte diese Zahl bei einigen Tierarten reduziert werden. Bei Ratte und Meerschweinchen konnten nur je 50 Haverssche Kanälchen im Querschnitt ausgemessen werden.
Es konnten auch nicht immer 100 verschiedene, einander nicht überlappende Gesichtsfelder ausgezählt werden. Beim Haushuhn waren es 50, beim Feldhasen 30 und bei Ratte und Meerschweinchen nur 20. Angeschnittene Haverssche Kanälchen wurden dabei nicht mitgezählt.
Um eventuelle lokale Differenzen in ein- und demselben Knochen zu berücksichtigen, wurden die Schnitte aus verschiedenen Höhen der Diaphyse entnommen und dabei gleichmäßig Rand-, Mittel- und marknahe Innenschicht des entsprechenden Schliffpräparats ausgewertet. Bei schrägem Anschnitt der Haversschen Kanälchen wurde jeweils der schmälste Querschnitt ausgemessen. (vgl. Abb. 2)

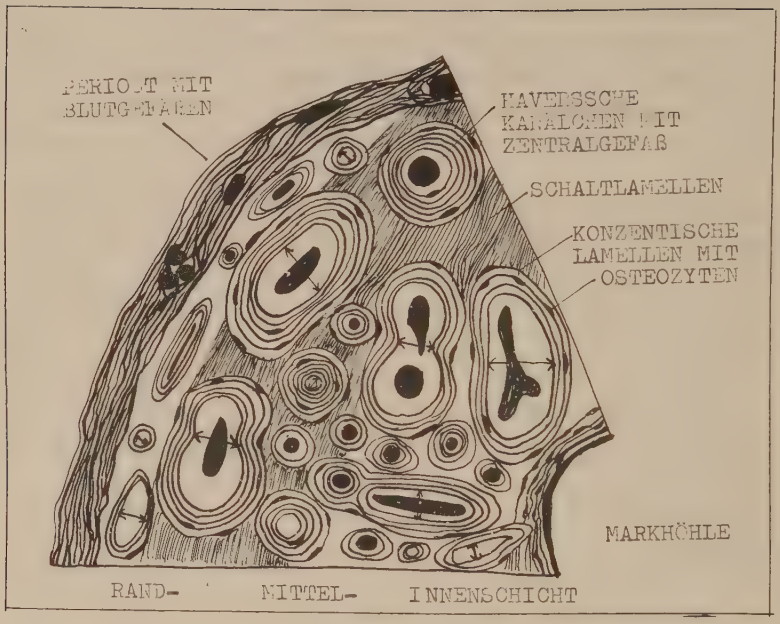


Abb. 2

Messung des Durchmessers der Haversschen Kanälchen bei schrägem oder rundovalem Anschnitt an der schmälsten Stelle der Lumina

4. Ergebnisse

Bei der Bestimmung der Mittelwerte wurde nicht zwischen den einzelnen Knochenarten unterschieden. Die Mittelwerte für den Durchmesser der Haversschen Kanälchen und deren Anzahl pro Gesichtsfeld wurden vielmehr aus der Gesamtheit des untersuchten Knochenmaterials (Femur, Humerus, Phalange) der jeweiligen Tierart bzw. des betreffenden Jungtieres gebildet. Dieses Vorgehen erscheint sinnvoll, da bei aufgefundenen Knochenfragmenten, wenn sich die Frage nach der Artzugehörigkeit stellt, es erst recht nicht vorhersehbar ist, welchem anatomischen Korrelat das Knochenstück zuzuordnen ist.

Die Mittelwerte für den Menschen setzen sich aus der Gesamtheit aller Untersuchten, vom 4 Monate alten Säugling bis zum 86jährigen Erwachsenen zusammen.
Das histologische Bild menschlicher Knochen weist zwar auffallend viele Gemeinsamkeiten auf, es gibt jedoch Differenzen, sowohl im Durchmesser der Haversschen Kanälchen, als auch in deren Anzahl pro Gesichtsfeld, je nachdem, ob es sich um Knochen junger oder alter Menschen handelt. Im ersteren Fall überwiegen an den Haversschen Kanälchen Appositionsvorgänge, im letzteren Resorptionsvorgänge, im Zuge fortschreitender Osteoporose.
Im mittleren Lebensalter stellt sich ein gewisses Gleichgewicht ein, was sich darin äußert, daß die Haversschen Kanälchen einen mittleren Durchmesser annehmen und die Schwankungsbreite geringer wird. Die Mittelwerte bleiben dieselben.
Das gilt auch für die Anzahl der Kanälchen pro Flächeneinheit.

In der Regel kennt man das Lebensalter aufgefundener Knochenfragmente nicht, und wir wollten im Rahmen dieser Arbeit keine Altersbestimmung an Hand der Histologie vornehmen. Es ging uns in erster Linie um die Möglichkeit der Unterscheidung von Menschen- und Tierknochen und die Nachprüfung der in der Literatur angegebenen Methode.

Tabelle 3

Art	Durchmesser der Havers'schen Kanäle in µ		
Fohlen	33,38	51,23	78,62
Mensch	26,6	44,9	75,6
Schimpanse	20,2	37,1	68,01
ausgew. Pferd	23,1	36,6	58,0
Kalb	24,1	33,88	47,5
Ferkel	20,22	29,09	42,27
Ponny	17,8	26,5	39,33
Rind	17,49	25,4	36,8
Schaf	13,23	24,8	46,55
Berberaffe	17,1	24,2	34,3
Gemse	16,6	22,9	31,5
Katze	15,7	22,1	31,3
Berner Sennhund	16,1	22,4	31,1
Dackel	16,5	21,8	28,8
Bastard	14,2	21,7	23,0
Schäferhund	15,0	21,04	29,5
Ziege	8,6	20,4	48,2
Meerschweinchen	12,4	19,1	29,5
Rothirsch	12,0	17,2	24,65
Ratte	8,8	13,4	20,5
Reh	10,0	12,9	16,6
Feldhase	9,8	12,4	14,6
Haushuhn	2,08	4,9	11,5

Tabelle 4

Art	Anzahl der Havers'schen Kanäle pro Gesichtsfeld		
Mensch	0,76	1,95	3,14
Schimpanse	0,89	1,98	3,07
Berberaffe	0,8	2,05	3,3
Ausgew. Pferd	1,13	2,13	3,13
Fohlen	1,53	2,43	3,33
Ponny	1,55	2,75	3,95
Kalb	---	2,98	6,58
Rind	2,08	3,18	4,28
Dackel	1,61	3,0	4,39
Berner Sennhund	2,15	3,65	5,15
Schäferhund	1,92	3,92	5,92
Bastard	2,6	4,13	5,66
Katze	0,76	4,26	7,76
Ziege	2,37	4,27	6,17
Ratte	2,8	4,9	7,0
Rothirsch	3,31	5,05	6,79
Schaf	3,47	5,07	6,67
Gemse	4,29	5,99	7,69
Meerschweinchen	4,5	6,5	8,5
Reh	4,62	6,52	8,42
Feldhase	4,16	6,66	9,16
Ferkel	5,01	6,91	8,81
Haushuhn	5,44	8,13	10,82

Vergleicht man Tabelle 3, wo die Tiere von oben nach unten in der Reihenfolge des abnehmenden Durchmessers der Haversschen Kanälchen geordnet sind, mit Tabelle 4, wo die Reihenfolge der Tiere nach der Anzahl der Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld (von oben nach unten zunehmend) geordnet sind, so fällt auf, daß die Reihenfolge der Tierarten in etwa dieselbe ist. Es besteht also, wie zu erwarten, eine gewisse Korrelation der Größe der Haversschen Kanälchen mit deren Anzahl pro Gesichtsfeld. D. h. je größer der Durchmesser der Haversschen Kanälchen ist, umso geringer ist deren Dichte im Knochenanschliff, und je kleiner der Durchmesser ist, umso mehr Haverssche Kanälchen erscheinen pro Gesichtsfeld.
Zieht man die Funktion der Haversschen Kanälchen, die der Vaskularisation und Ernährung der Substantia compacta dienen, in Betracht, so ist dieses Erscheinungsbild leicht verständlich.

In einigen Fällen läßt sich solch eine direkte Zuordnung allerdings nicht machen, wie beim Berberaffen, dem Schaf und der Gemse. Während sich die Kanälchendurchmesser der genannten Tierarten nur geringfügig voneinander unterscheiden, ist die Anzahl der Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld bei Schaf und Gemse gegenüber dem Berberaffen deutlich höher.

Hauptsächlich geht es aber um die Unterscheidung von Tier- und Menschenknochen und deshalb seien im folgenden die Tiere herausgegriffen, deren Werte denen des Menschen am nächsten kommen.

Das sind, was die Anzahl der Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld betrifft, Schimpanse, Berberaffe und Pferd. Insbesondere die Werte des Schimpansen mit durchschnittlich 1,98 ($\pm$ 1,09) Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld kommen denen des Menschen mit 1,95 ($\pm$ 1,19) ziemlich nahe.

Tierarten	Haverssche Kanälchen	
	Durchmesser in u	Anzahl pro Gesichtsfeld
Pferd	23,1 - 36,3 - 58,0	1,13 - 2,13 - 3,13
Fohlen	33,38 - 31,23 - 78,62	1,53 - 2,43 - 3,33
Berberaffe	17,1 - 24,2 - 34,3	0,8 - 2,05 - 3,3
Schimpanse	20,2 - 37,1 - 68,01	0,89 - 1,98 - 3,07
Mensch	26,6 - 44,9 - 75,6	0,76 - 1,95 - 3,14

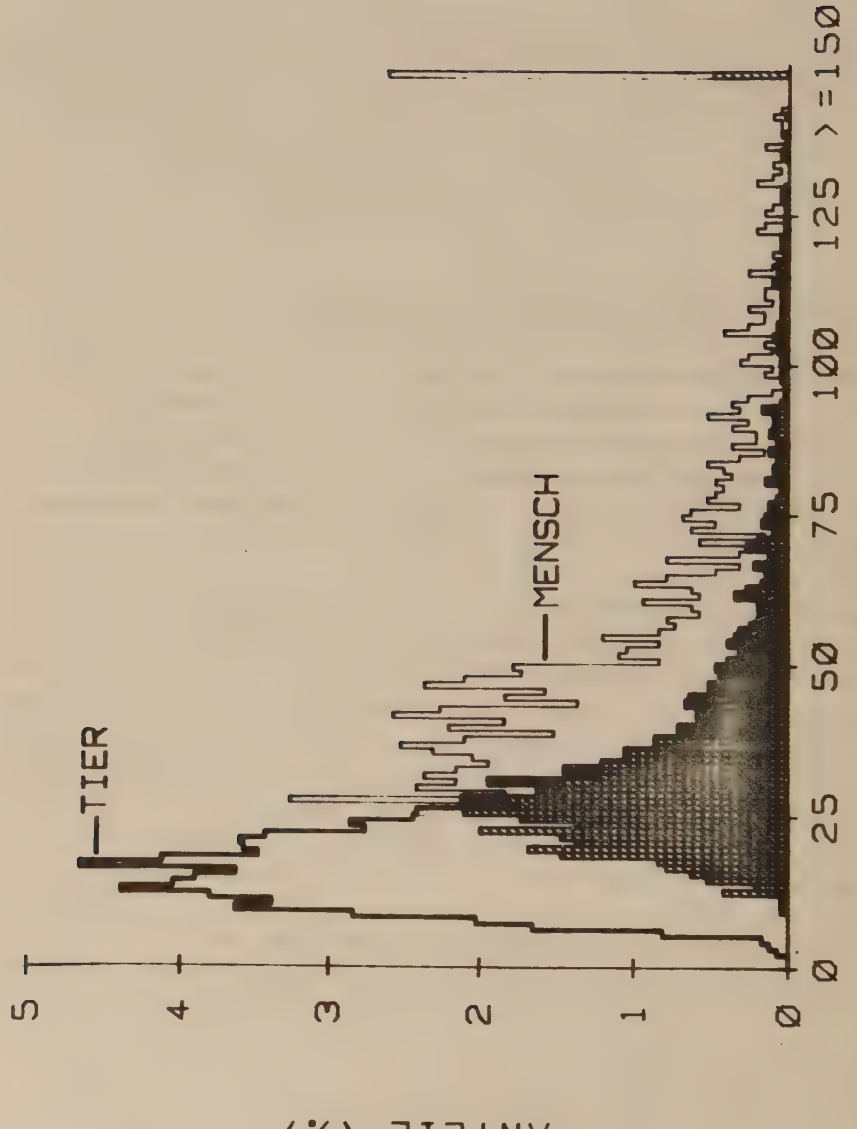
Wenn man alle gemessenen Einzelwerte der Durchmesser der Haverssche Kanälchen für den Menschen und alle untersuchten Tiere graphisch darstellt, so ergibt sich eine große Anzahl sich überschneidender Einzelwerte, die in der Graphik Abb. 3 schraffiert dargestellt sind.

Die eindeutige Identifizierung von Menschenknochen wird dadurch problematisch, insbesondere dann, wenn nicht genügend Knochenmaterial vorliegt, um Messungen in statistisch repräsentativer Größenordnung vorzunehmen.

Den Durchmesser von 100 verschiedenen Haversschen Kanälchen auszumessen ist allenfalls auch bei wenig Material möglich. Den limitierenden Faktor stellt das Auszählen von 100 Gesichtsfeldern dar, die einander nicht überlappen sollen. Dagegen ist einzuwenden, daß man die Zählung auch bei stärkerer Vergrößerung ausführen könnte. Dann enthält aber jedes Gesichtsfeld erheblich weniger Haverssche Kanälchen und das führt bei einer gleichen Anzahl von Zählungen, deren Mittel gezogen wird, dazu, daß die Streubreite kleiner wird, d. h. die Mittelwerte liegen näher beisammen.

Hinzu kommt, daß große Haverssche Kanälchen bei starker Vergrößerung in einem Gesichtsfeld nicht mehr vollständig dargestellt werden können.

Abb. 3


ANTEIL (%)
5
4
3
2
1
0
TIER
MENSCH
0
25
50
75
100
125
>=150
DURCHMESSER (µM)

5. Diskussion

Wenn man aus der Literatur die Angaben über die Differenzierung von Tier- und Menschenknochen zusammenstellt, so erhält man zwar kein einheitliches Bild, die meisten Aussagen gehen aber doch in die Richtung, daß eine mikroskopisch-morphologische Unterscheidung möglich ist.

Bei unseren Untersuchungen haben wir zunächst bewußt den strukturellen Feinbau außer Acht gelassen und sind nur auf die Größe der Haversschen Kanälchen und deren Anzahl pro Gesichtsfeld eingegangen, weil es sich dabei um eine zahlenmäßig leicht erfaßbare, objektivierbare Methode handelt, die statistisch gut auszuwerten ist. Wir haben große Reihen ausgewertet - im Gegensatz zu den meisten unserer Voruntersucher, die ihre Mittelwerte zum Teil aus nur 10 Meßdaten bildeten - und dabei festgestellt, daß sich die Mittelwerte beim Menschen zwar von denen der meisten Tiere erheblich unterscheiden, daß aber die Standardabweichungen des Durchmessers der Haversschen Kanälchen nach oben und unten so groß sind, daß sie sich mit denen der meisten Tiere überdecken.

Die Aussage von Kenyeres und Hegyi, daß die Durchmesser der Haversschen Kanälchen beim Menschen im Durchschnitt 3 mal größer seien als beim Tier, muß nach unseren Untersuchungen angezweifelt werden, ebenso wie die Behauptung von Balthazard und Lebrun, daß außer beim Affen bei allen anderen Tierarten der Kanälchendurchmesser immer weniger als 20µ betrage.

Wada räumte immerhin die Möglichkeit einer Verwechslung der Knochen Neugeborener mit Affenknochen ein. Unsere Untersuchungen an insgesamt 12 Menschen bzw. 20 Knochen, von denen nur 4 von Kleinkindern stammten, bei der Bestimmung des Mittelwerts aus dem gesamten Potential also nicht übermäßig ins Gewicht

fallen, zeigten, daß solange man sich auf die reinen Zahlenwerte verläßt, durchaus auch die Verwechslungsmöglichkeit von erwachsenen Menschen mit Affen besteht. (vgl. Abb. 4, Abb. 5)

Canuto geht das Problem von der anderen Richtung an.
Seiner Meinung nach bestehe zwar beim Menschen eine große Variabilität, die Kanälchendurchmesser lägen bei 16µ bis 150 und 200µ, bei Tieren könne man die kleinen Querschnitte beobachten, niemals aber solche in der Größenordnung von 150 bis 200µ.
Dieser Behauptung müssen wir entgegensetzen, daß auch beim Fohlenknochen so große Haverssche Kanälchen vorkommen. Hier erreichen die Durchmesser sowohl im Mittelwert, als auch in der einfachen Standardabweichung höhere Werte als die des Menschen.

	Durchmesser in µ
Fohlen	33,38 - 51,23 - 78,62
Mensch	26,6 - 44,9 - 75,6

Schranz gibt durchschnittliche Durchmesser der Haversschen Kanälchen des Menschen von 80µ an und vertritt die Auffassung, daß nur die Durchmesser des ausgewachsenen Pferdes ähnliche Abmessungen erreichten. Unsere Untersuchungen ergeben, daß die Mittelwerte von Mensch und Pferd zwar different sind, die Abweichungen sich aber breit überdecken.

	Durchmesser in µ
Pferd	23,1 - 36,6 - 58,0
Mensch	26,6 - 44,9 - 75,6

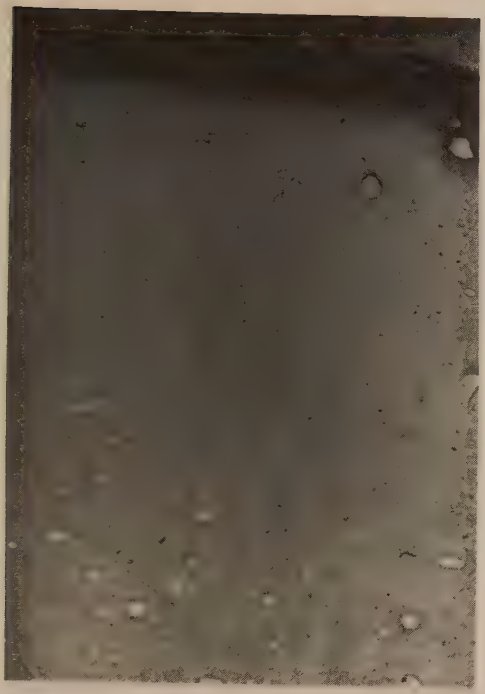


Abb. 4
Femur, Schimpanse

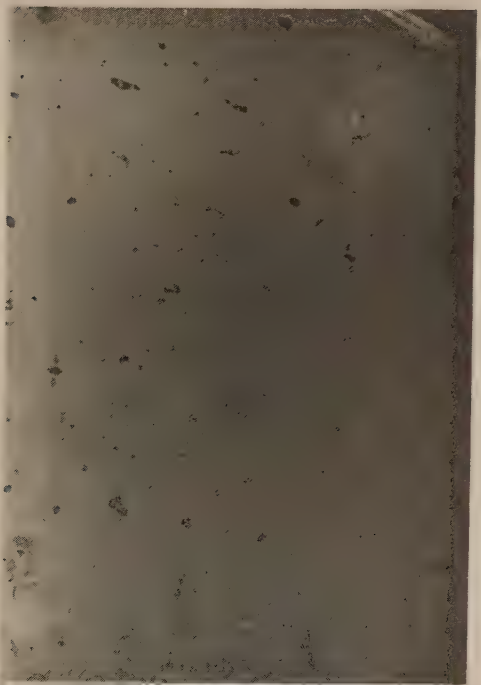


Abb. 5
Femur, Mensch, 24 Jahre

Auch die Durchmesser anderer Tierarten gibt Schranz ziemlich hoch an, mit 65µ beim Bär, 50µ beim Wildschwein und 40µ bei Hausschwein und Rind. Wir hatten zwar keine Bärenknochen zur Verfügung, die Werte beim Hausschwein sind aber in etwa mit unseren beim Ferkel, 20,22 - 29,09 - 42,27µ vergleichbar.
Beim Rind sind die Durchmesser der Haversschen Kanälchen nach unseren Messungen kleiner, sie liegen zwischen 17,49 und 36,8µ mit einem Mittelwert um 25,4µ.
Der Umstand, daß große Haverssche Kanälchen leichter und exakter auszumessen sind als kleine, erklärt die Tendenz, große Haverssche Kanälchen bevorzugt zu berücksichtigen. Dagegen hilft nur ein systematisches Vorgehen, indem man mehr oder weniger linear von außen (periostal) nach innen (marknah) gleichmäßig viele Haverssche Kanälchen in Rand-, Mittel- und Innenbezirken ausmißt. Nur so kann man die gesamte Schwankungsbreite im Knochenquerschnitt erfassen.
Die Angaben von Schranz über die Anzahl der Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld können mit unseren nicht verglichen werden, da er die Gesichtsfelder bei 100facher Vergrößerung auszählte, wir aber bei 500facher
Die stärkere Vergrößerung erschien uns schon deshalb sinnvoller, weil insbesondere bei Tieren mit kleinen Haversschen Kanälchen diese bei der Zählung unter schwacher Vergrößerung leicht übersehen werden können. Der Anzahl der Haversschen Kanälchen pro Gesichtsfeld kann aber bei der Differenzierung entscheidende Bedeutung zukommen.

Eine neuere Untersuchung, die bisher unerwähnt blieb, stammt von Roman Rämsch (1963). Er begutachtete Menschenknochen verschiedenen Alters, von Neugeborenen und Erwachsenen und verglich sie mit Tierknochen von Pferd, Rind, Ziege, Schaf Schwein, Hund, Kaninchen, Katze, Huhn und Gans. Seine Ergebnisse sind insofern mit unseren vergleichbar, als sie unter denselben Bedingungen ausgewertet wurden. (Die Durchmesser bei 75facher, die Zählung der Gesichtsfelder bei 500facher Vergrößerung).

Rämsch: Haverssche Kanälchen

	Anzahl pro Gesichtsfeld	Durchmesser in µ
Mensch:		
Neugeborenes	2,3	54,5
6 Monate	1,7	60,5
12 Monate	1,6	71,6
18 Monate	1,7	56,8
41 Jahre	1,7	52,9
70 Jahre	1,5	70,0

Eigene Ergebnisse:

0,76 - 1,95 - 3,14 26,6 - 44,9 - 75,6

Rämsch: Haverssche Kanälchen

	Anzahl pro Gesichtsfeld	Durchmesser in µ
Tiere:		
Pferd	2,7	30,0
Rind	1,4	47,9
Ziege	2,4	21,2
Schaf	3,6	18,2
Hund	3,0	21,2
Katze	2,8	20,3
Huhn	7,0	14,0

Eigene Ergebnisse: Haverssche Kanälchen

	Anzahl pro Gesichtsfeld	Durchmesser in µ
Tiere:		
Pferd	1,13 - 2,13 - 3,13	23,1 - 36,6 - 58,0
Rind	2,08 - 3,18 - 4,28	17,49 - 25,4 - 36,8
Ziege	2,37 - 4,27 - 6,17	8,6 - 20,4 - 48,2
Schaf	3,47 - 5,07 - 6,67	13,23 - 24,8 - 46,55
Hund	2,6 - 4,13 - 5,66	14,2 - 21,7 - 23,0
Katze	0,76 - 4,26 - 7,76	15,7 - 22,1 - 31,3
Huhn	5,44 - 8,13 - 10,82	2,08 - 4, 9 - 11,5

Vergleicht man die Ergebnisse miteinander, so fällt auf, daß die von Rämsch angegebenen Mittelwerte in einigen Fällen eng mit denen von uns ermittelten zusammentreffen, zumindest aber im Spektrum der einfachen Standardabweichung liegen, ausgenommen die Mittelwerte vom Rind. Sie entsprechen in etwa den unseren vom Kalb:

Durchmesser in µ: 24,1 - 33,8 - 47,5
Anzahl pro Gesichtsf.: 2,98 ± 3,6

Beim jungen Tier ist der Knochen noch im Aufbau begriffen und stärker vaskularisiert. Die Osteone sind noch nicht in dem Maße differenziert wie beim ausgewachsenen Tier - die Lumina der Haversschen Kanälchen sind größer. (vgl. Abb. 6, Abb. 7) Daß auch die Auswahl der Knochenart eine nicht unbedeutende Rolle spielt - wir haben die Werte von Femur, Humerus und Phalange zusammengemittelt, während Rämsch zu seinen Untersuchungen nur Femora verwendete - mag die Abweichungen im einzelnen erklären.

Rämsch stellt nachdrücklich fest, daß "trotz großer Variabilität der einzelnen Kanäle in Größe und Anzahl ein augenfälliger Unterschied zwischen Mensch und Tier ersichtlich ist" (Rämsch 1963). Die Variabilität läßt ihn aber doch nicht unbeeindruckt, so daß er abschließend auf die unterschiedliche Form der Haversschen Kanälchen (rund, oval) und auf ihre Größenverteilung eingeht. "Bei allen Lebensaltern des Menschen finden sich überwiegend am Rand die schmalen und im Zentrum die weiteren Kanälchen, während bei den verschiedenen Tierarten - da wo große und kleine Kanäle vorhanden sind - diese meist nebeneinander liegen und somit ein 'buntes Bild' zu erkennen ist. Etwas anderes ist es bei den Ziegenknochen. Hier findet man am Rand die weiteren und im Zentrum - nach dem Markraum zu - die schmalen Lumina". (Rämsch 1963)

Im großen und ganzen können wir diese Beobachtungen bestätigen. Wir möchten aber einschränkend bemerken, daß die Haversschen Kanälchen in der Grundphalange der Ziege - verglichen mit Femur und Humerus, die ein sehr ähnliches histologisches Bild zeigen - viel größere Lumina aufweisen.

Der von Rämsch vertretenen Auffassung, daß bei allen Lebensaltern des Menschen am Rand (periostal) die schmalen und im Zentrum (marknah) die weiteren Haversschen Kanälchen liegen, während bei den verschiedenen Tierarten große und kleine Haverssche Kanälchen meist nebeneinander liegen, können wir uns nicht anschließen. Vergleicht man den Humerus des Fohlens mit dem des ausgewachsenen Pferdes, so sieht man, daß beim Jungtier marknah weitere Kanälchen vorherrschen, die in Richtung Periost englumiger werden, und erst beim ausgewachsenen Tier das erwähnte "bunte Bild" ausgeprägt ist. (vgl. Abb. 8, Abb. 9)

An die vorhergehenden Betrachtungen anschließend, möchten wir im folgenden näher auf den strukturellen Feinbau des Knochens eingehen und weitere Kriterien angeben, die zur Differenzierung zwischen Tier- und Menschenknochen von Bedeutung sein können. Bei Gebhardt (1901), Foote (1916), Matyas und Szabo (1932) und Demeter (1928) sind Ansätze einer diesbezüglichen Beschreibung zu finden.

Foote geht von der Phylogenese aus und glaubt an der Knochenstruktur niedere Tiere von solchen höherer Entwicklungsstufe unterscheiden zu können. Seiner Meinung nach ist das vollständig differenzierte Haverssche System ein Merkmal höherer Säugetiere und des Menschen. Die Haversschen Kanäle seien leicht gebogen und parallel zur Hauptachse des Knochens verlaufend.

Gebhardt geht von der Beanspruchung des Knochens (Zug, Druck, Biegung, Torsion) aus und führt darauf die unterschiedliche Ausprägung der Haversschen Kanälchen zurück. Besonders an den Ansätzen von Sehnen am Knochen wird die einheitliche Richtung der Haversschen Kanälchen zu Gunsten eines Netzwerkes aufgegeben. Es kommt zum "Verlust an Regelmäßigkeit im Aufbau, massenhaft vorhandenen, mangelhaft ausgebildeten Haversschen Systemen, vielen Bruchstücken..., zu einer durch eine mächtige Störung hervorgerufenen wilden ungeordneten, nichts Bleibendes, sondern im Gegenteil, viele abortive Gestaltungen schaffenden Umbautätigkeit." (Gebhardt 1901)

Abb. 6
Humerus, Kalb

Abb. 7
Humerus, Rind

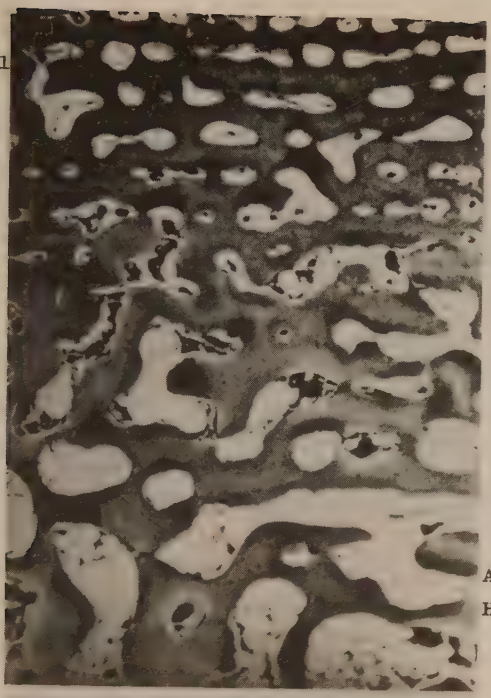


Abb. 8
Humerus, Fohlen

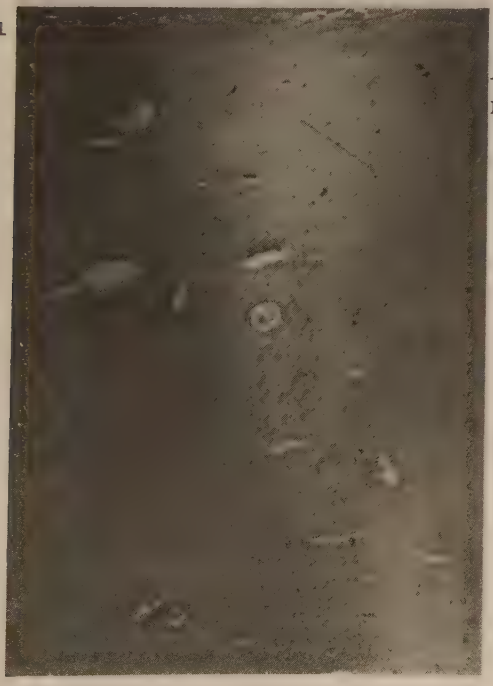


Abb. 9
Humerus, Pferd

Insbesondere an der Linea aspera des Femur findet eine starke Aufweitung der die Gefäße beherbergenden Räume unter vielfacher Querverbindung statt. (Gebhardt 1901)

Die ausgesprochene Bevorzugung der Diaphyse langer Röhrenknochen in der Literatur zu mikroskopisch-morphologischen Untersuchungen wird daraus verständlich. Denn insbesondere die Femurdiaphyse stellt einen Spezialfall von bestimmter und übersichtlicher Orientierung der wichtigsten Beanspruchungsrichtungen einerseits, und der Massenentfaltung andererseits dar. Wir sind dieser Empfehlung gefolgt und haben unser Material den medianen Anteilen der Diaphysenmitte entnommen. Die Linea aspera des Femur wurde ausgespart, ebenso wie alle Sehnenansatzstellen, so daß die oben beschriebenen Veränderungen bei unseren Messungen nicht ins Gewicht fallen. Aufgefundene Knochenfragmente könnten aber ohne weiteres auch diesen Teilen des Knochens entstammen, was die Identifizierung zusätzlich erschweren würde und die Differenzierung mittels der Haversschen Kanäle käme dann wohl nicht mehr in Frage.
Hinzu kommt, daß auch eine Abgrenzung des diaphysären Teils gegen die Epiphyse notwendig ist, wie Demeter (1927) feststellte, denn der Kanälchendurchmesser nimmt im Epiphysenbereich ab. Speziell für den menschlichen Femur gibt Demeter die Grenzen der Diaphyse an, nämlich 10mm über der Öffnung des oberen Nährkanals und abwärts von der unteren Nährlücke ungefähr bis zu einer Entfernung von 8 mm.

Ampiro und Bairati (1936) haben sich näher mit den Altersveränderungen beschäftigt. Sie stellten fest, daß beim Menschen etwa vom 5. Dezennium an die senile Osteoporose beginnt, wobei die Dicke der Kompakta abnimmt und in vielen Fällen auch der Durchmesser der Haversschen Kanälchen an Weite zunimmt. (vgl. Abb 10, Abb. 11)

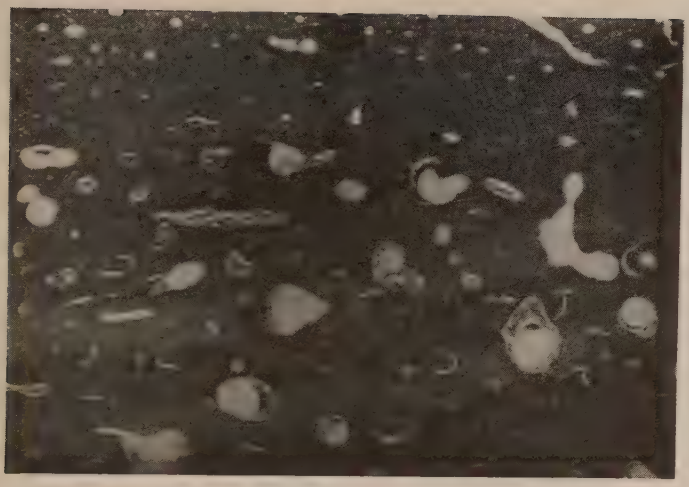


Abb. 10 Femur, Mensch 10 Monate

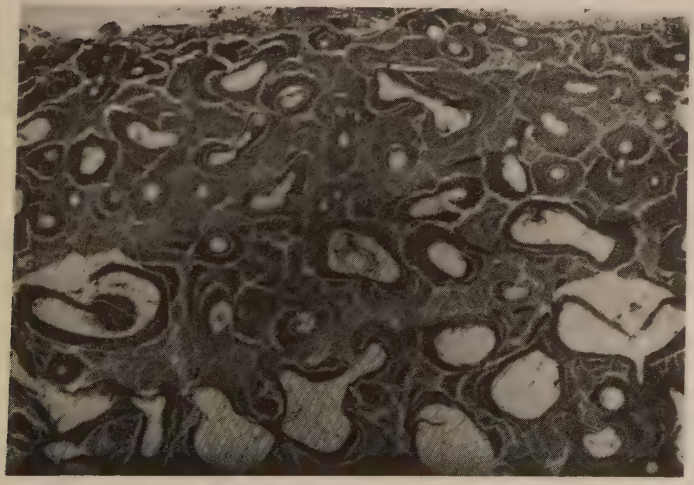


Abb. 11 Femur, Mensch 86 Jahre

Diese Prozesse sind erheblichen individuellen Schwankungen unterworfen. Die verschiedenen Knochen jedes Individuums kommen jedoch in einem "bestimmten Gepräge" (Ampiro und Bairati 1936) vor, wobei große Ähnlichkeit in der Struktur der Diaphyse des Femurs, des Humerus und der Tibia gefunden werden.
Ampiro und Bairati lehnen es ab, sämtliche Knochenstrukturen durch das Prinzip zu erklären, daß sie eine Anpassung an mechanische Wirkung darstellen. Sie sehen in der Variabilität der Knochenstruktur vielmehr das morphologische Substrat der individuellen Konstitution.

6. Schlußfolgerung

Bei unseren Untersuchungen kam es nicht so sehr darauf an, lokale, individuelle und funktionell bedingte Schwankungen der Knochenstruktur einzelner Menschen und Tiere zu berücksichtigen, sondern vor allem Menschen- und Tierknochen voneinander zu unterscheiden. Dazu sollten die Größe der Haversschen Kanälchen und deren Verteilung im Knochenquerschnitt herangezogen werden. Bei der statistischen Auswertung zeigte sich eine große Variabilität, sowohl im Durchmesser der Kanälchen, als auch in deren Anordnung, die eine eindeutige Identifizierung durch die reinen Zahlenwerte sehr fraglich erscheinen lassen. Zusätzliche Fehlerquellen liegen in den strukturellen Veränderungen des Knochens an Stellen erhöhter mechanischer Belastung, an der Umbauzone der Linea aspera und an der Diaphysen - Epiphysengrenze. Hinzu kommen die altersabhängigen Appositions- und Resorptionsvorgänge, die bei fortschreitender Osteoporose auch zur Zunahme der Lumina der Haversschen Kanälchen führen.
Goldbach und Hinüber (1955) sind trotzdem der Auffassung, daß die vererbte Anlage für die Knochenstruktur die übergeordnete Rolle spielt, denn "es bestehen mannigfache Verschiedenheiten quantitativer wie qualitativer Art hinsichtlich der Bevorzugung

einer von mehreren funktionell gleichzeitig möglichen Architekturarten". (Goldbach, Hinüber 1955)
Ihnen ist eine systematische Beschreibung der strukturellen Merkmale von Menschen- und Tierknochen zu verdanken, die wir hier abschließend wiedergeben möchten.

A. Grobstruktur
1. ungeschichteter Knochen
2. mehrgeschichteter Knochen
3. vielgeschichteter Knochen

B. Blutgefäße
I. Gefäßverlauf
1. vorwiegend longitudinal
2. vorwiegend zirkulär
3. vorwiegend radiär
II. Gefäßquerschnittsbild
1. gleichmäßig
2. partiell gleichmäßig
3. ungleichmäßig

C. Haverssche Systeme
Osteonentypen
1. Linearosteone: a) lange
b) kurze
2. Solitärosteone: a) rund und konzentrisch
b) polygonal und exzentrisch
c) oval
d) quadratisch, rechteckig
3. Gyröse Osteone
4. Gemeinschaftsosteone
5. Reihenosteone: a) rund bis oval
b) quadratisch bis rechteckig

Die Kompakta der menschlichen Röhrenknochen ist nicht geschichtet; die Gefäße sind vorwiegend längs gerichtet und dementsprechend ist die Struktur der solitären Osteone, die letzteren sind polygonal und der Haverssche Kanal befindet sich in einer exzentrischen Position. (Hunger, Leopold 1978).

Zusammenfassend kommen wir zu dem Ergebnis, daß die Methode der Differenzierung zwischen Tier- und Menschenknochen durch die Messung der Haversschen Kanälchen und Auszählen der Anzahl pro Gesichtsfeld nicht isoliert angewandt werden sollte. Zusammen mit anderen Untersuchungen (vergleichende Anatomie und biologische Verfahren) liefert sie durchaus gute Anhaltspunkte, wenn man die Werte der meisten Tiere vergleicht.
Durch Berücksichtigung weiterer struktureller Merkmale und des Baus der Osteone wird es in den meisten Fällen möglich sein, Menschenknochen von Tierknochen zu unterscheiden.
Zieht man die mannigfaltigen Fehlermöglichkeiten in Betracht - altersabhängige Umbauprozesse, Anpassung an mechanische Wirkung und individuellen Konstitutionstyp - so ist dieses Verfahren für die Anwendung in der forensischen Praxis nur bedingt geeignet.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Identifizierung aufgefundener Knochenfragmente leisten.
Neben den serologischen Methoden wurde in der Literatur seit 1903 immer wieder ein vergleichend morphologisch-histologisches Verfahren empfohlen. Danach kann zwischen Tier- und Menschenknochen unterschieden werden, indem man im Knochenquerschnitt die Durchmesser der Haversschen Kanälchen ausmißt und deren Anzahl pro Gesichtsfeld bestimmt. Der Vorteil dieser Methode bestünde - abgesehen von der leichten Objektivierbarkeit - darin, daß, selbst dann wenn das knocheneigene Eiweiß vollständig denaturiert ist, wie es bei verbrannten Knochen häufig der Fall ist und serologische Verfahren nicht mehr anwendbar sind, trotzdem noch die Herkunft des Knochens, ob von Tier oder Mensch, bestimmt werden könnte.

Wir haben diese Methode an den Röhrenknochen (Femur, Humerus, Phalange) von 22 verschiedenen Tieren und Menschen verschiedenen Alters, vom 4 Monate alten Säugling bis zum 86jährigen Greis nachgeprüft. Dazu wurden pro Knochenart 100 Haverssche Kanälchen ausgemessen und 100 Gesichtsfelder ausgezählt.
Bei der statistischen Auswertung zeigte sich eine große Variabilität, sowohl im Durchmesser der Kanälchen, als auch in deren Verteilung im Knochenquerschnitt. Insbesondere zwischen Mensch und Affe kommt es zur breiten Überlappung in der einfachen Standardabweichung, aber auch mit stammesgeschichtlich weniger artverwandten Tieren (Pferd, Fohlen) kann es, verläßt man sich auf die reinen Zahlenwerte, zu Verwechslungen kommen.

Zieht man die mannigfaltigen Fehlerquellen, die sich zusätzlich aus funktionellen und altersabhängigen Umgestaltungen der Knochenstruktur ergeben und nicht ohne Auswirkung auf die Haversschen Systeme bleiben, in Betracht, so muß die praktische Anwendbarkeit dieser Methode doch in Frage gestellt werden.
Um eine verläßliche Unterscheidung zu treffen, wird man immer den strukturellen Feinbau mitberücksichtigen müssen.

Damit wird dieses Verfahren dem Anspruch der forensischen Medizin auf einen hohen Grad an Sicherheit nicht gerecht. Bis auf weiteres muß also bei der Differenzierung zwischen Tier- und Menschenknochen auf die vergleichende Anatomie und die serologischen Verfahren verwiesen werden.

8. Literatur

1. Ampiro R., Bairati A.
Processi di ricostruzione e di riassorbimento nella sostanza compatta delle ossa dell'uomo
Zeitschr. f. Zellforschg. u. mikroskop. Anatomie Abt. A 24: 440 - 511 (1935)

2. Balthazard P., Lebrun R.
Les Canaux de Havers de l'os humain aux differents ages
Ann. d'hygiene publ. et de med. leg.: 144 - 152 (1911)

3. Beumer R.
Über die Unterscheidung von Menschen- und Tierknochen in forensischer Beziehung
Vjschr. f. gerichtl. Med. I. Supplement Heft Bd. 45:3 - 10 (1913)

4. Canuto G.
Diagnosi di specie in piccoli fragmenti di ossa calcinata. Technica per il rapido allestimento dei preparati
Arch. Anthr. Crim. 47: 948 - 958 (1927)

5. Demeter G., Matyas J.
Mikroskopisch vergleichend - anatomische Studien am Röhrenknochen mit besonderer Rücksicht auf die Unterscheidung menschlicher und tierischer Knochen
Zeitschr. f. ges. Anatomie 87: 45 - 99 (1928)

6. Dexler H.
Zur Diagnostik aufgefundener Kadaverteile
Arch. f. Kriminalanthr. u. Kriminalistik 23: 249 - 254 (1906)

7. Dietz G., Dürwald W.
Gerichtliche Medizin
Johann Ambrosius Verlag Barth Leipzig 1976: 244

8. Fana G.
L'esame istologico delle ossa distinzione
di ossa umane da ossa di animali
Giornale internationale delle scienzi medizine 4
Napoli 1907: 167 - 169

9. Forster B., Ropohl D.
Rechtsmedizin
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1976: 40

10. Förster A., Goldbach H. J.
Die histologische Differenzierung von Femurdiaphysen
Neugeborener, Kleinkinder und kleiner Haustiere
Dtsch. Zeitschr. ges. gerichtl. Med. 43: 273 - 289
(1954)

11. Foote J. S.
Contribution of the comparative histology of the femur
Smithonian Contribution to Knowledge 35: 1 - 242 (1916)

12. Gebhardt F. A. M.
Über funktionell wichtige Anpassungsweisen der
gröberen und feineren Bauelemente des Wirbeltierknochens
I. Hälfte Arch. Entw. mech. 11: 457 - 480, 484 - 492
II. Hälfte Arch. Entw. mech. 12: 167 - 212
(1901)

13. Gerin C.
Les méthodes histologiques en medecine légale
Actes XXXe Congrès International: 124 - 126 (1965)
(Kongreßbericht)

14. Geyer W.
Beitrag zur Differentialdiagnose der Herkunft von Knochen in forensischer Beziehung unter spezieller Berücksichtigung der histologischen Verhältnisse.
Inaug. Diss. Jena (1910)

15. Giese E.
Über die Diagnose der Herkunft von Knochenfragmenten in forensischer Beziehung durch vergleichende histologische Untersuchung
Vjschr. gerichtl. Med. 38: 28 - 37 (1908)

16. Goldbach H. J., Hinüber H.
Versuch einer Systematik der Formelemente des Säugetierknochens
Dtsch. Zeitschr. ges. gerichtl. Med. 44: 578 - 588 (1955)

17. Gradwohl's Legal Medizine
John Wright and Sons LTD. Bristol 1976: 109

18. Grass E.
Untersuchungen zur Frage der Differentialdiagnose zwischen Menschen- und Tierknochen
Inaug. Diss. Berlin 1916

19. Hey R.
Die histologische Identifizierung von menschlichen tierischen Knochen
Dtsch. Zeitschr. ges. gerichtl. Med. 4: 566 - 567 (1924)

20. Hinüber H.
Weitere Erfahrungen in der histologischen Differenzierung von Menschen- und Tierkörpern
Vortrag Kongreß der Dtsch. Ges. f. gerichtl. u. soz. Med., Kiel (1954)
(Kongreßbericht)

21. Hunger H., Leopold D.
Identifikation
Springer Verlag Berlin - Heidelberg - New York 1978:
101 - 107

22. Kenyeres B., Hegyi M.
Unterscheidung des menschlichen und tierischen
Knochengewebes
Vjschr. gerichtl. Med. 25: 225 - 232 (1903)

23. Kenyeres B.
Untersuchungen des Herrn Eugen Matyas an Menschen-
und Tierknochen
Vjschr. gerichtl. Med. I. Supplement Heft 45: 10 - 34
(1913)

24. Krogman W. M.
The Human Skeleton in Forensic Medizine
Charles c. Thomas Spingfield Illinois USA 1962: 220 f.

25. Kernbach M.
Etude sur l'identification des os
Cartea Romaneasee Cluy (1925)

26. Lochte T.
Gerichtsärztliche und polizeiärztliche Technik
Bergmann Wiesbaden 1914

27. Matyas J.
Mikroskopische Untersuchungen der biologischen
Resorption in Röhrenknochen
Akademiai Kiado, Budapest (1955)

28. Matyas J., Szabo M.
Das nähere Verwandtschaftsverhältnis zwischen den
Menschen und den Anthropoiden aufgrund mikroosteologischer
Untersuchungen auch mit Rücksicht auf die feinere
Knochenstruktur der Carnivoren und Ungelaten
Zeitschr. f. Anat. Entw. Gesch. 97: 169 - 209 (1932)

29. Mueller B.
Gerichtliche Medizin
Springer Verlag Berlin - Göttingen - Heidelberg 1953: 153 - 156

30. Muller M., Demarez R.
La diagnostic différentiel de l'os de singe et de l'os humain
Note prélim. Ann. med. lég. 14: 598 - 607 (1934)

31. Neureiter F. v., Peitrusky F., Schütt E.
Handwörterbuch der Gerichtlichen Medizin und naturwissenschaftlichen Kriminalistik:
Leichenverbrennung, Leichenzerstückelung
Julius Springer Berlin 1940

32. Ouchterlony Ö.
Antigen - antibody reactions in gels
IV. Types of reactions in coordinated systems of diffusion
Acta path. microbiol. Scand. 32: 231 - 244 (1953)

33. Parisot P., Mutuel M.
L'importance de la phalange enguéale dans l'identification de débris osseux
Ann. med. lég. 9: 543 - 545 (1929)

34. Rämsch R., Zerndt E.
Vergleichende Untersuchung der Haversschen Kanälchen zwischen Menschen und Haustieren
Arch. Kriminol. 131: 74 - 87 (1963)

35. Romeis B.
Mikroskopische Technik
Oldenburg Verlag München - Wien 1968: 73 ff.

36. Sandritter W.
Histopathologie
Schattauer Verlag Stuttgart - New York 1977: 259 - 261